

Bienvenid@s

WEBINAR



Carlos Bello

Responsable Técnico de Proyectos y Desarrollos



Gloria Núñez

Ingeniero de Desarrollo



CLEAN SKY2 REAR-END:

“PROCESOS DE ALTA CADENCIA EN SECCIONES TRASERAS DE FUSELAJE”

Miércoles 16 de diciembre 2020, 16:00h





Aernnova es un suministrador de primer nivel de estructuras aeronáuticas para los principales OEMs. Con más de 700 millones de facturación y 4.700 empleados, somos el principal Tier 1 en España y el 10º del mundo.

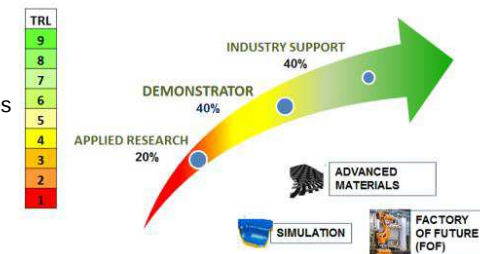
Fundación para la **investigación, desarrollo, y aplicación** de Materiales Compuestos

80% del trabajo es para el **sector aeronáutico** y específicamente para AIRBUS.

Certificaciones:



ACTIVIDADES:
Investigación aplicada
Fabricación de demostradores
Soporte a la industria
Cursos de formación CM



- **INTRODUCCIÓN**
 - **CLEAN SKY 2 (CS2)**
 - **ENTORNO ADVANCED REAR END (ARE)**
 - **ALCANCE DEL DEMOSTRADOR**

- **DEMOSTRADOR: TECNOLOGÍAS Y PROCESOS**
 - **CUADERNA DE CARGA**
 - **CUADERNAS DE FORMA**
 - **PIEL ALTAMENTE INTEGRADA: INTEGRACIÓN Y ÚTIL COLAPSABLE**

1.

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN: CLEAN SKY 2

6

Clean Sky 2

El programa Clean Sky es una iniciativa europea dentro del programa marco Horizonte 2020 gestionado por un consorcio del tipo público-privado entre la Unión Europea y la industria aeronáutica europea que coordina y financia actividades de investigación y desarrollo.

Clean Sky 2 aprovecha los logros de su predecesor (Cleansky), con el objetivo de mejorar el **impacto medioambiental de las tecnologías aeronáuticas** europeas y garantizar la futura competitividad internacional del sector europeo de la aeronáutica.

Los objetivos específicos de Clean Sky 2 se basan en integrar, demostrar y validar tecnologías capaces de:

- mejorar la eficiencia de combustible de las aeronaves, reduciendo así las **emisiones de CO₂** con respecto a las aeronaves de última generación.
- reducir las emisiones de NOx y las **emisiones sonoras** con respecto a las aeronaves de última generación.

<https://www.cleansky.eu/>



CLEAN SKY 2008-2017 CLEAN SKY 2 2014-2024 FLIGHTPATH 2050

-CO ₂	-26%	TO	-20%	-30%	-75%
-NO _x	-60%	TO	-20%	-30%	-90%
NOISE	TO	-50%	TO	-20%	-30%
		-75%			-60%

912 participations (over 500 unique entities)*



AERnova

FIDAMC

AEMAC

INTRODUCCIÓN: CLEAN SKY2: PLATAFORMA 1

7

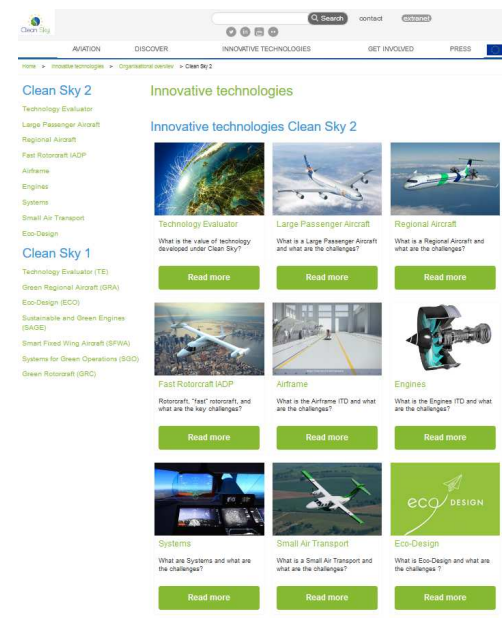
Configuraciones avanzadas de motores y aviones.

La Plataforma 1 proporcionará el entorno para explorar y validar la integración de los conceptos de propulsión más eficientes en combustible y las nuevas tecnologías para aeronaves de corto / medio y largo alcance de próxima generación.

Una parte importante del trabajo consistirá en **construir y diseñar demostradores** de tecnología implementados en un entorno de aeronave representativo para alcanzar TRL 5 o 6.

La **madurez** y la evaluación del desempeño de las tecnologías se llevarán a cabo a través de **demostraciones a gran escala** que incluyen campañas de extensas pruebas de vuelo. Esto se logrará utilizando demostradores de tamaño completo montados en aviones de prueba y a través de **demostradores terrestres de tamaño completo** o mediante la validación de modelos de subescala en pruebas de túnel de viento. Las campañas con aviones de prueba de vuelo de subescala es otro modo de prueba que está bajo investigación sistemática en la Plataforma 1 de LPA.

<https://www.cleansky.eu/node/45>



INTRODUCCIÓN: DE CLEAN SKY2: PLATAFORMA 1

8

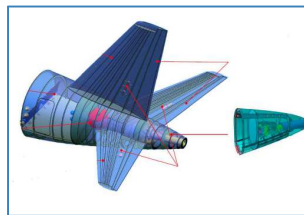
- La Plataforma 1 de LPA se basa en seis pilares principales de investigación, cada uno de los cuales incluye al menos uno de los demostradores que se enumeran a continuación.

<https://www.cleansky.eu/large-passenger-aircraft>

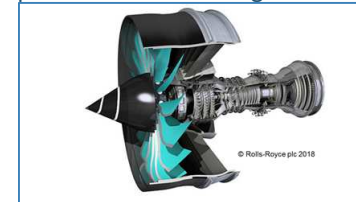
1.1 Tecnologías de propulsión para aeronaves de corto/medio alcance



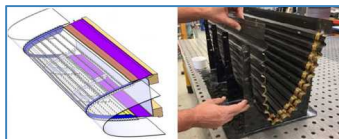
1.2 Advanced Rear-End



1.3 Tecnologías de propulsión para aeronaves de largo alcance



1.4 Demostradores de control de flujo laminar natural / híbrido.



1.5 Concepto de propulsión híbrida.



1.6 Concepto de configuraciones radicales.

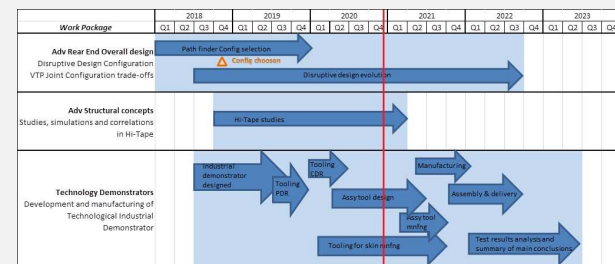
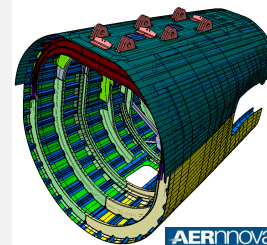


INTRODUCCIÓN: ADVANCED REAR END: OBJETIVOS DEL DEMOSTRADOR

9

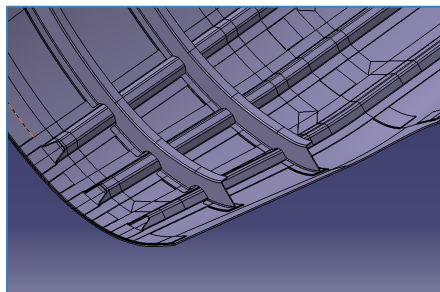
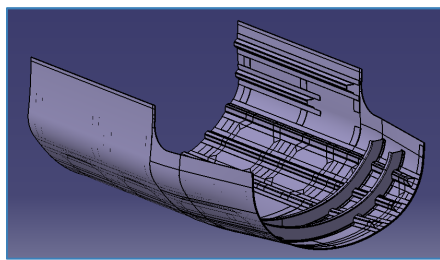


- ✓ Demostrar ratios de fabricación de 100 aviones al mes.
- ✓ Reducir los costes recurrentes comparando con el estado del arte actual.
- ✓ Reducir el peso debido a una configuración en la que no se consideran cargas térmicas derivadas de dilatación diferencial metal/carbono.
- ✓ Ensayar nuevas tecnología de remaches ciegos.
- ✓ Definir métodos de control de proceso novedosos.
- ✓ Probar nuevos métodos inteligentes de montaje de estructuras aeronáuticas.

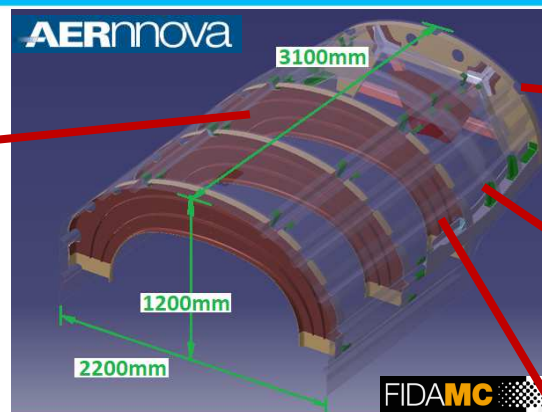


INTRODUCCIÓN: ALCANCE DEL DEMOSTRADOR

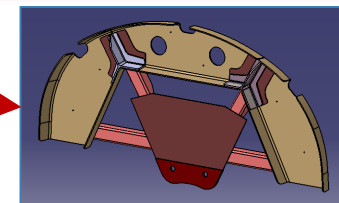
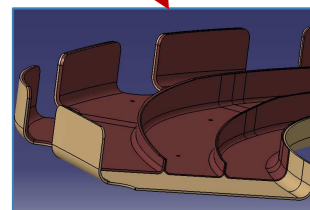
10



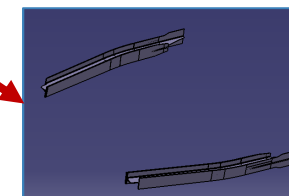
- 1 Piel alta integración en autoclave.



- 3 Cuadernas de carga RTM.
- Clips varios de ALM.



- 1 Cuaderna de cierre termoplástico.



- 2 Vigas de HTP autoclave.

AERnova

FIDAMC

AEMAC

2.

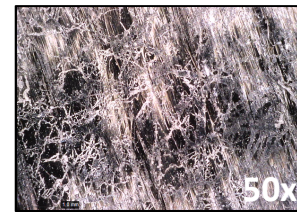
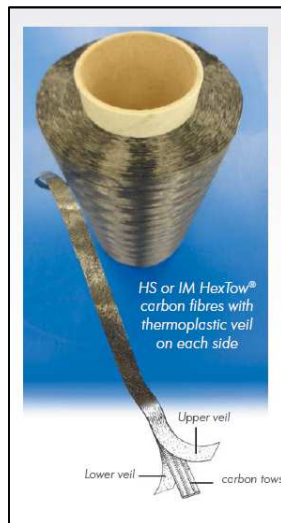
DEMOSTRADOR: TECNOLOGÍAS Y PROCESOS

- INTRODUCCIÓN
 - CLEAN SKY 2 (CS2)
 - ENTORNO ADVANCED REAR END (ARE)
 - ALCANCE DEL DEMOSTRADOR

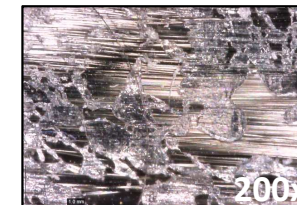
- **DEMOSTRADOR: TECNOLOGÍAS Y PROCESOS**
 - **CUADERNA DE CARGA**
 - CUADERNAS DE FORMA
 - PIEL ALTAMENTE INTEGRADA: INTEGRACIÓN Y ÚTIL COLAPSABLE

DEMOSTRADOR:

MATERIAL: Descripción de materia prima: Arquitectura del material 13



Termoplástico en ambas caras



Termoplástico en ambas caras

Fibre	HexTow® IMA-GP 12K	
Carbon Fibre Nominal weight	210 g/m²	5.19 oz/sqy²
Veil description	Thermoplastic Veil	on both sides
Width	12.7 mm	0.5 in
Thickness	0.194 mm	at 60% FVC

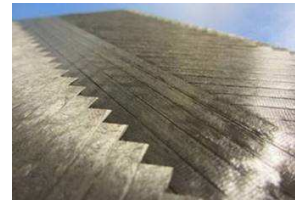
Other Fiber / Width / Areal Weight available for HiTape®



DEMOSTRADOR:

MATERIAL: Descripción de materia prima: Arquitectura del material

14



Laminado consolidado

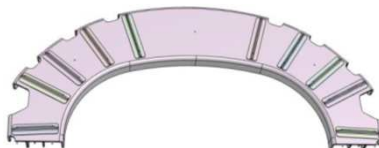
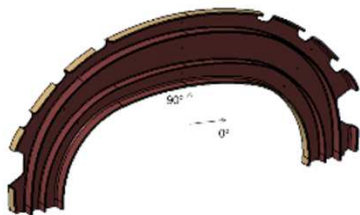
- No es necesario limpieza del cabezal en AFP/ATL:
 - No se generan depósitos de resina.
 - No se generan “pelusas”.
- Conformado de piezas en frío y en caliente.
- No es necesaria compactación intermedia.
- Todos los beneficios de curado fuera de autoclave.
- Permite RTM y LRI.
- Muy bajo contenido en huecos y alta proporción de fibras (60%)



CUADERNA DE CARGA: INTRODUCCIÓN

15

Cuaderna de carga: Elementos estructurales que dan forma al fuselaje.



Dimensiones:

2m x 1,5m

Espesor total: 8mm

Curvatura: Zonas de R500

Material: Tecnología de fibra seca.
Proceso automático.



Propuesta:

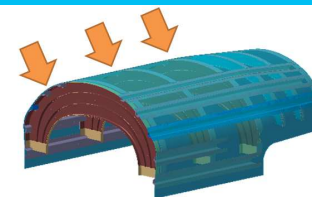
Considerar los larguerillos interiores como sub-cuadernas interiores de menor espesor.

Geometría:

Perfil curvo con sección en C

- Larguerillos circunferenciales
- Rigidizadores radiales

Faldilla exterior está remachada al fuselaje, presenta *mouseholes*.



El espesor final de cada elemento a fabricar es mucho menor que con la idea inicial.

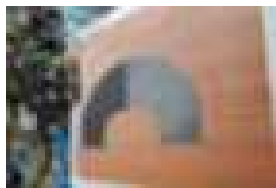
CUADERNA DE CARGA: FABRICACIÓN DE ELEMENTALES

16

Una vez se ha seleccionado el material, nos centramos en elegir el proceso de fabricación que mejor se ajusta. En el esquema se muestran las etapas del proceso.

Todas ellas están basadas en **medios automáticos**

ENCINTADO AUTOMÁTICO AFP ½"



Todas las elementales Cexterior, Cs interiores y rigidizadores radiales, se encintan en plano.



CONFORMADO EN PRENSA

Combina: Temperatura, presión y movimiento

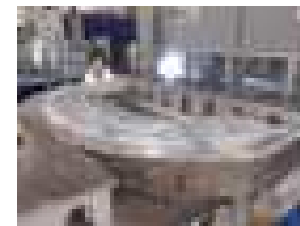


CONFORMADO EN MEMBRANA

Temperatura y vacío



INTEGRACIÓN E INYECCIÓN



Tras el curado de la resina:
Proporción adecuada de fibra/resina

Conformado:
Cada elemental individual adquiere su forma final

CUADERNA DE CARGA: ENCINTADO AFP

17

AFP: consideraciones generales

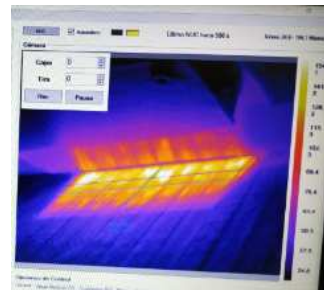
- Geometrías complejas: **Doble curvatura**
- Formato de material: **Mechas**
- Cada mecha (tow) tiene un sistema independiente que permite su adaptación a la geometría de la superficie.
- El soporte se calienta con un **láser**
- La temperatura del láser y la velocidad del cabezal **se adapta al tipo de material**: Adaptable a prepreg/termoplástico/fibra seca.
- Velocidades típicas AFP



cabezal

laser

mandrino



Laser calentando la superficie de encintado

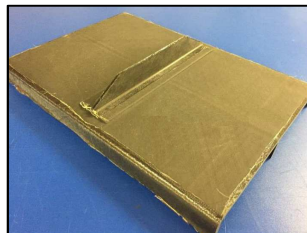
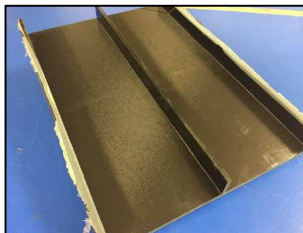
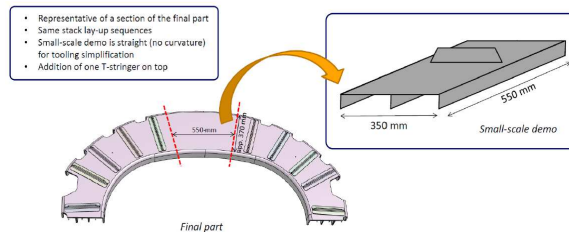


Sistema independiente de rodillos para cada tow

CUADERNA DE CARGA: CONFORMADO EN PRENSA

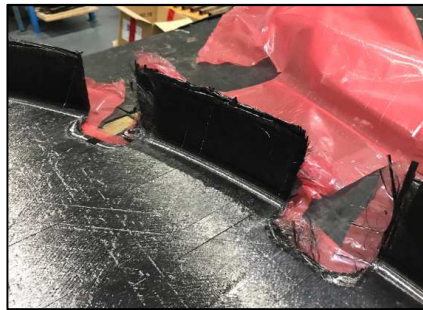
18

- Diseño de concurrencia entre Ingeniería y Fabricación.
- Se realizan ensayos iniciales para confirmar la capacidad de drapabilidad del material y establecer los parámetros de proceso.

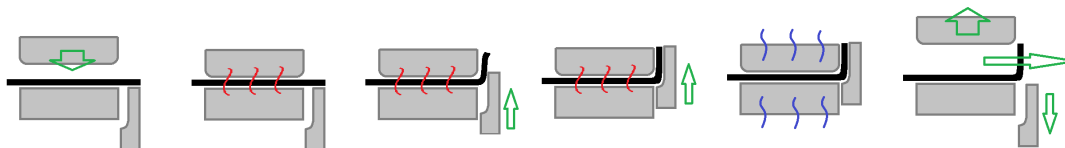


CUADERNA DE CARGA: CONFORMADO EN PRENSA

19

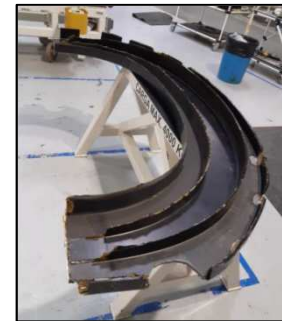
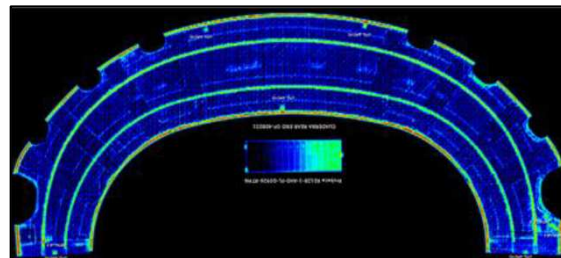


- Fuerza de Conformado en prensa 50Tm.
- Velocidades de aproximación diferenciales.
- Sistema autocalentado para alcanzar temperaturas de conformado.
- Sistema de elevación de faldillas por servocontrol para conformado progresivo.



CUADERNA DE CARGA: INYECCIÓN (CURADO RTM)

20



WebinarsAEMAC N°32 - Preformas fibra seca para RTM

<https://www.youtube.com/watch?v=rBFSR8SqUgg&t=3893s>



AERnova

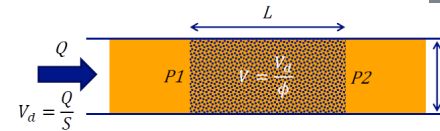
FIDAMC

AEMAC

CUADERNA DE CARGA: INYECCIÓN - Permeabilidad

La pérdida de carga se fundamenta en la ley de Darcy:

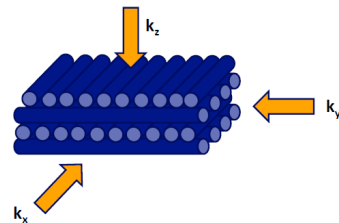
$$V_d = -\frac{K \Delta P}{\eta L}$$



Pressure loss $\rightarrow \Delta P = P2 - P1$



Asociando este fenómeno a nuestro caso de permeabilidad de resina a través de un tejido:



$$V = -\frac{K(\phi) \Delta P}{\eta \cdot \phi L}$$

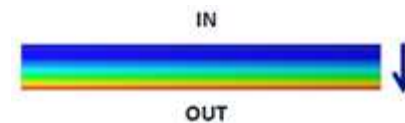
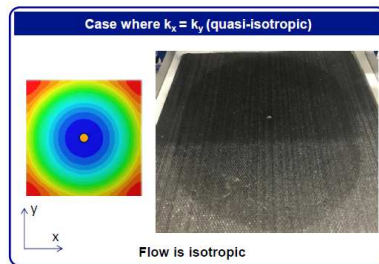
➤ Therefore, high resin velocity requires:

- Low resin viscosity
- High reinforcement permeability
- Maximum vacuum
- Limited flow distance

CUADERNA DE CARGA: INYECCIÓN - Permeabilidad

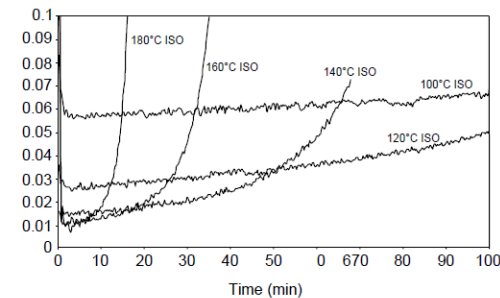
Permeabilidad en plano y a través del plano.

- Cuando el camino de la inyección a través de las “creces” del material se torna excesivamente largo, es conveniente facilitar la inyección con canales auxiliares que permitan la impregnación en dirección “Z”.
- La intención es reducir las distancias que tiene que recorrer la resina mientras va ganando viscosidad con el tiempo debido a la gelificación.



Viscosity Profile

Complex viscosity (Pas)



HexFlow® RTM 6 Isothermal viscosity



HexFlow® RTM 6

180°C mono-component epoxy system for Resin Transfer Moulding and Infusion technologies



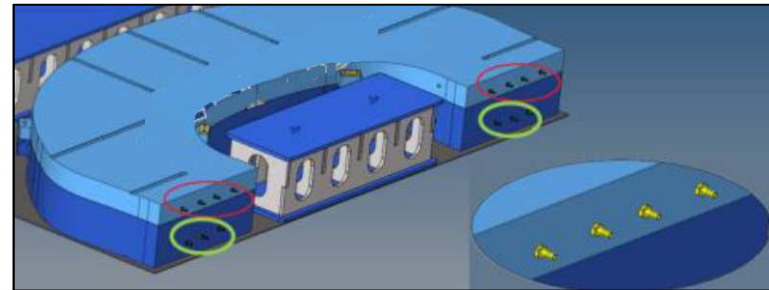
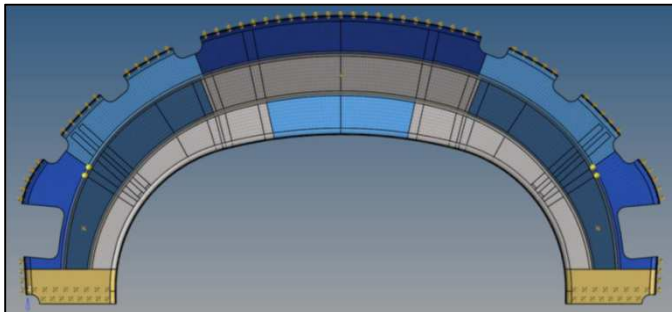
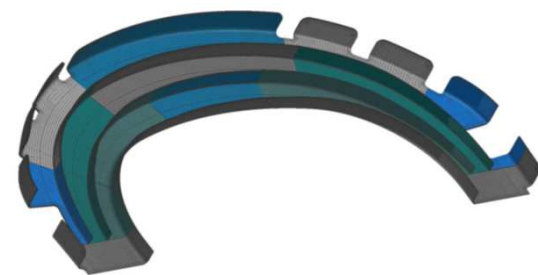
AERnova

FIDAMC

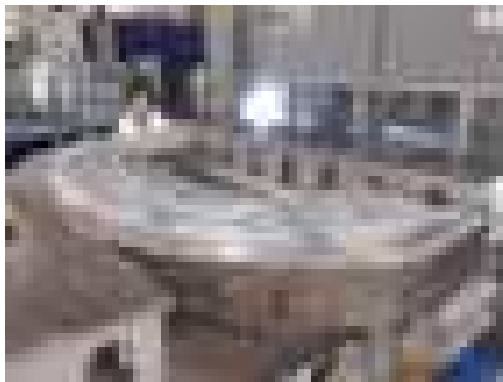
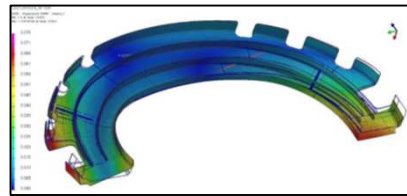
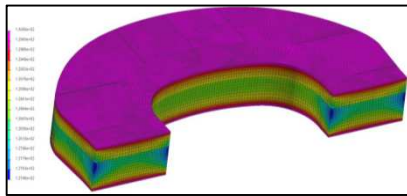
AEMAC

CUADERNA DE CARGA: INYECCIÓN – Curado en RTM

- Gracias a los estudios previos de viscosidad y permeabilidad realizados, se puede calcular la capacidad de la preforma para ser impregnada y definir mejor la estrategia de inyección.
- Se genera un mallado 2D con HyperMesh considerando las variaciones de espesor.
- El mallado 3D se realiza para el software PAM-RTM, considerando un llenado en caliente.



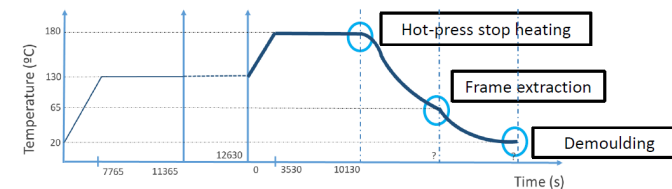
CUADERNA DE CARGA: INYECCIÓN – Curado en RTM



- El curado de la cuaderna se realiza en una prensa de platos calientes.
- Previa a la inyección, se realizan simulaciones térmicas para observar la correcta distribución de temperaturas a lo largo del proceso y la variación del gradiente.
- Con estas diferencias en las rampas de calentamiento/enfriamiento, combinado con la geometría de la pieza, se puede incluso predecir el springback teórico que se espera de la pieza.

Kamal Sourour equation →
describes the cure kinetics; analysis
of curing reaction

$$\left(\frac{d\alpha}{dt}\right) = (k_1 + k_2\alpha^m)(1 - \alpha)^n F(\alpha)$$



- INTRODUCCIÓN
 - CLEAN SKY 2 (CS2)
 - ENTORNO ADVANCED REAR END (ARE)
 - ALCANCE DEL DEMOSTRADOR

- **DEMOSTRADOR: TECNOLOGÍAS Y PROCESOS**
 - CUADERNA DE CARGA
 - **CUADERNAS DE FORMA**
 - PIEL ALTAMENTE INTEGRADA: INTEGRACIÓN Y ÚTIL COLAPSABLE

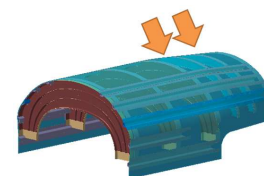
CUADERNAS DE FORMA: INTRODUCCIÓN

26

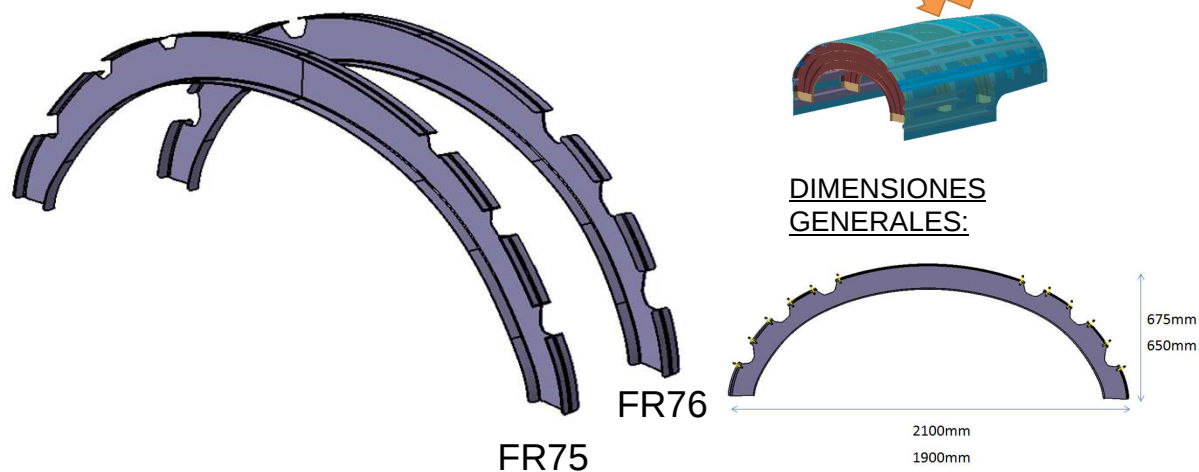
CUADERNAS DE FORMA: Similares a las cuadernas de carga, dan forma al fuselaje, estructuralmente están sometidas a un nivel de carga mucho más bajo. (Espesores en torno a 3mm)

TECNOLOGÍA: material pre-impregnado, SEMICURADOS

LOCALIZACIÓN:
Zona cónica



DIMENSIONES GENERALES:



CUADERNAS DE FORMA: PROCESO DE FABRICACIÓN AFP CON PREPREG + HOTFORMING

27

Material: preimpregnado.

Tecnología: Semicurados.



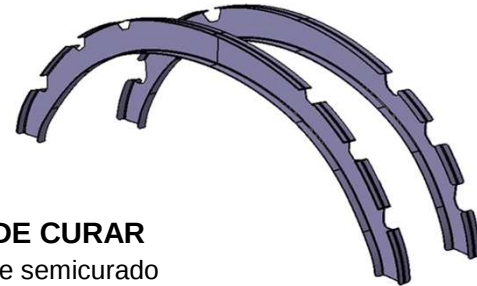
ENCINTADO
AUTOMÁTICO (ATL)



CONFORMADO DE
PREFORMAS CON
VACÍO



ÚTIL DE CURAR
Ciclo de semicurado



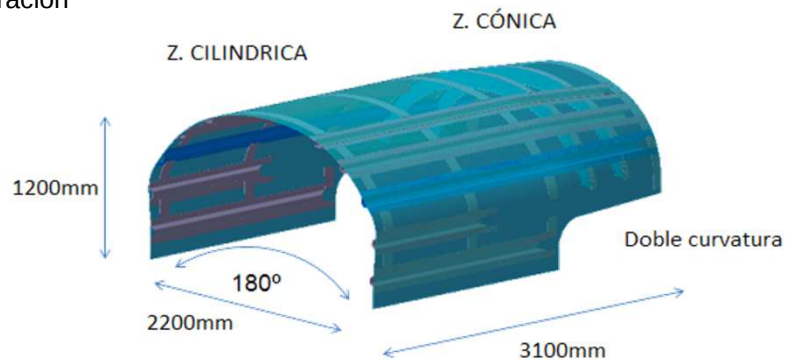
- INTRODUCCIÓN
 - CLEAN SKY 2 (CS2)
 - ENTORNO ADVANCED REAR END (ARE)
 - ALCANCE DEL DEMOSTRADOR

- **DEMOSTRADOR: TECNOLOGÍAS Y PROCESOS**
 - CUADERNA DE CARGA
 - CUADERNAS DE FORMA
 - **PIEL ALTAMENTE INTEGRADA: INTEGRACIÓN Y ÚTIL COLAPSABLE**

PIEL ALTAMENTE INTEGRADA: OTRAS COMPONENTES

29

Material: Preimpregnado
Alta integración



Características geométricas:

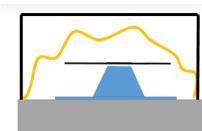
- 180°, 3mx2mx1m
- Zona cilíndrica-zona cónica
- Doble curvatura

Elementales:

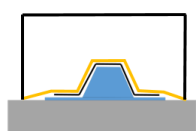
2 cuadernas de forma semi-curvas
10 larguerillos en fresco

Integración:

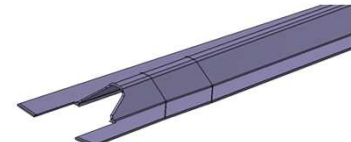
Colocación en el útil de curado cada elemental previo al encintado de la piel.



$\uparrow T^a$



T^a CTE + VACÍO



AERnova

FIDAMC

AEMAC

PIEL ALTAMENTE INTEGRADA: ÚTIL COLAPSABLE

30

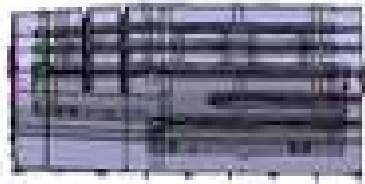
Útil de integración:

Requisitos:

- Estanqueidad

Otros detalles a tener en cuenta en el útil:

Colocación de las cuadernas con sección en J semicuradas:



Colocación de las omegas



PIEL ALTAMENTE INTEGRADA: INTEGRACIÓN, ENCINTADO Y CURADO ³¹

ENCINTADO



El útil con las elementales colocadas se coloca sobre el eje del mandrino de la máquina de encintado.

El movimiento relativo entre el eje del mandrino y el cabezal permite encintar en los 180° que requiere la pieza.

Consideraciones:

AFP – preimpregnado
16 mechas de ¼"

CURADO



Se cura la piel, las omegas y se terminan de curar las cuadernas semicuradas.

DESMOLDEO



Desmoldeo asistido con una estructura de izado para el conjunto de la piel integrada

OPERACIONES POSTERIORES:

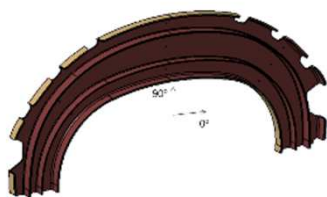
Inspección NDT, Recanteo, Montaje del resto de componentes.

CONCLUSIONES: ESTADO ACTUAL

32

CUADERNAS DE CARGA

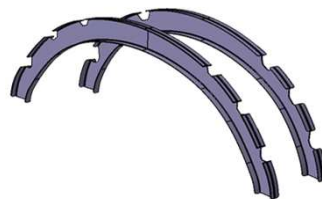
- ✓ Diseño
- ✓ Utillaje
- ➡ Ensayos de fabricabilidad
- ⏸ Ensayo mecánico



- ✓ Terminado 100%
- ➡ En progreso
- ⏸ Pendiente de comenzar

CUADERNAS DE FORMA

- ✓ Diseño
- ➡ Utillaje
- ➡ Ensayos de semicurados a pequeña escala
- ⏸ Ensayos de fabricabilidad a escala real

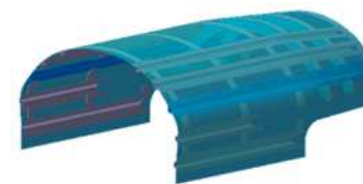


PLAN 2021:

- Finalización del demostrador en Q4 2021.

PIEL ALTAMENTE INTEGRADA

- ✓ Diseño
- ➡ Utillaje
- ⏸ Pruebas de estanqueidad en el utillaje



MUCHAS GRACIAS



GLORIA NUÑEZ MARQUEZ
FIDAMC
gloria.n.marquez@fidamc.es
Tlf. 916244613
Avda. Rita Levi Montalcini, 29.
28906 Getafe
MADRID

CARLOS BELLO LARROCHE
AERnova composites Illescas
carlos.bello@aernnova.com
Tlf. +34 608 395 136
Tlf. +34 925 534 110 Ext. 67027
Parque Industrial y Tecnológico, Parcela M-1 A
Ctra. Nacional Madrid-Toledo Km.32
Illescas 45200 (Toledo)

